

INSTITUUT VOOR BODEMVRUCHTBAARHEID, GRONINGEN

HET SCHATTEN VAN HOEVEELHEDEN WORTELS
IN VOOR WORTELONDERZOEK GENOMEN
MONSTERS

WITH A SUMMARY

THE ESTIMATION OF AMOUNTS OF ROOTS
IN SAMPLES BOUND FOR ROOT INVESTIGATION

J. J. SCHUURMAN

L. KNOT



STAATSDRUKKERIJ

UITGEVERIJBEDRIJF

VERSL. LANDBOUWK. ONDERZ. No. 63.14 — 's-GRAVENHAGE — 1957

207843

INHOUD

	Blz.
I. INLEIDING	3
II. HET SCHATTEN VAN WORTELHOEVEELHEDEN IN GESPOELDE MONSTERS IN FLESJES	7
1. Geschoonde monsters	7
2. Ongeschoonde monsters	8
III. HET SCHATTEN VAN WORTELHOEVEELHEDEN IN GRONDMONSTERS	11
1. Wortelwaarnemingen in verkruiemde boormonsters	11
2. Wortelwaarnemingen op horizontale snijvlakken van boormonsters . . .	13
3. Wortelwaarnemingen op horizontale breukvlakken van boormonsters . .	13
a. Het tellen van de naar buiten uitstekende worteleinden op een breukvlak van het boormonster	13
b. Het schatten van de grondbedekking door naar buiten uitstekende wortel-einden zonder gebruikmaking van een standaardreeks	14
c. Het schatten van de wortelbedekking met behulp van een standaardreeks van stippenfiguren	16
d. Bespreking der resultaten verkregen met stippenfiguren	18
IV. RICHTLIJNEN BIJ DE PRAKTISCHE TOEPASSING VAN DE SCHATTINGSMETHODE MET BEHULP VAN STIPPENFIGUREN	27
SAMENVATTING	30
SUMMARY	30
LITERATUUR	31

I. INLEIDING

Voor het wortelonderzoek op grasland en bij akkerbouwgewassen is de door GOEDEWAAGEN (1948) beschreven boormonstermethode een van de meest gebruikte.

Bij deze methode worden de grondmonsters van verschillende lagen in het veld verzameld en in het laboratorium op een fijne zeef gespoeld, waarna de wortels worden nageschoond, gedroogd en gewogen (fig. 1). Een voordeel van deze methode is, dat men weinig of niets verniet in de proefvelden, zodat naderhand nog betrouwbare opbrengstbepalingen kunnen worden verricht. Een tweede voordeel is, dat men door het opvoeren van het aantal boringen zeer betrouwbare gegevens kan krijgen. Het grote nadeel is evenwel, dat de methode zeer tijdrovend is.

Om een indruk te geven van de bewerkelijkheid is hierbij een overzicht gegeven van de benodigde tijd voor de verschillende onderdelen van het werk (tabel 1). Monsters van veengrond zijn niet in het overzicht opgenomen. De behandeling van veenmonsters in het laboratorium vraagt nog belangrijk meer tijd.

TABEL 1. Tijd benodigd voor de verwerking van 1000 monsters in mandagen

	mandagen <i>mandays</i>	
	klei <i>clay</i>	zand <i>sand</i>
Boormonsters nemen op het proefveld <i>Sampling on the experimental field</i>	10	6
Vervoer naar het laboratorium <i>Transport of the samples</i>	1	1
Spoelen der grondmonsters op een fijne zeef <i>Washing of the samples on a sieve</i>	20	16
Naschonen der gespoelde monsters <i>Selection of the roots from the washed samples</i>	60	70
Drogen der geschoonde monsters <i>Drying of the roots</i>	—	—
Wegen der geschoonde monsters <i>Weighing of the roots</i>	5	5
Gemiddeld aantal monsters per mandag vanaf het spoelen <i>Average number of samples per manday, starting from the washing</i>	12	11

TABLE 1. Time in mandays required for the working up of 1,000 samples

Het is begrijpelijk dat de bewerkelijkheid een beletsel is voor wortelonderzoek op grote schaal. Bemonstering van vele objecten, waarvan men graag over wortelgegevens zou willen beschikken, moet achterwege blijven. Het is daarom van betekenis na te gaan welke mogelijkheden er zijn om het vele werk te beperken.

Uit tabel 1 blijkt niet of er verschillen bestaan in de bewerkelijkheid van de afzonderlijke lagen. In de praktijk is evenwel gebleken, dat vooral de verwerking van de bovenste laag zeer tijdrovend is (zie fig. 1, het eerste flesje in de drie reeksen).

Men kan zich afvragen of het niet mogelijk is deze laag buiten de bewerking te laten. Dit zou kunnen, als er bijvoorbeeld van ieder gewas een vaste verhouding zou bestaan tussen het wortelgewicht van de laag 0-5 cm en dat van de gezamenlijke diepere lagen.

FIG. 1. Wortelmonsters van grasland. Volgorde der lagen van links naar rechts telkens: 0—5, 5—10, 10—15, 15—20, 20—30, 30—40, 40—50 cm, enz.

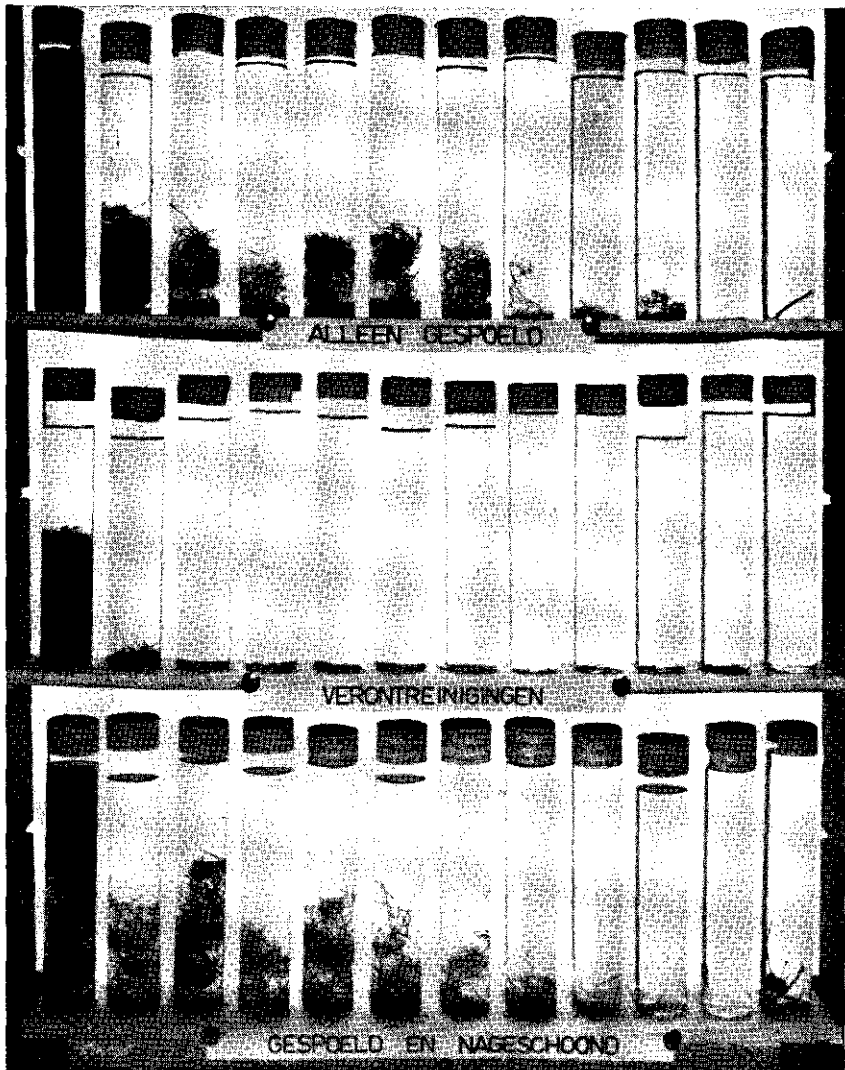


FIG. 1. Root samples of grassland. Order of succession of the layers from left to right: 0—5, 5—10, 10—15, 15—20, 20—30, 30—40, 40—50 cm, etc.

Top row: only washed

Middle row: selected impurities

Bottom row: selected roots

In de figuren 2a en b is voor grasland deze verhouding weergegeven. Hierbij blijkt, dat er geen vaste verhouding bestaat tussen de gewichten van de laag 0-5 cm en diepere lagen in verschillende percelen.

FIG. 2a.

Verband tussen het drooggewicht der wortels in mg van de laag 0—5 cm en dieper dan 5 cm (tot max. worteldiepte) (monsters van 40 boringen in grasland op zandgrond)

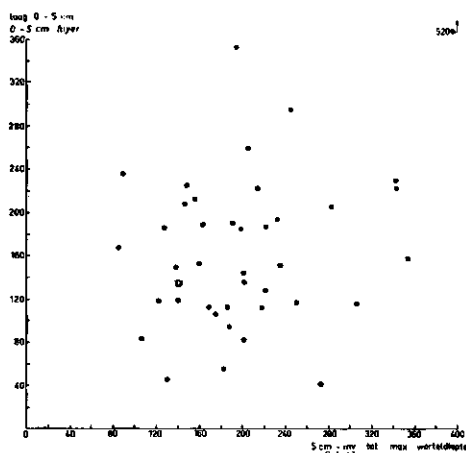


FIG. 2a.

Relation between the oven-dry weights of roots in mg in the layer of 0—5 cm and those of the subsoil layers to the maximum depth of rooting (40 drillings of grassland on a sandy soil)

FIG. 2b.

Verband tussen het drooggewicht der wortels in mg van de laag 0—5 cm en dieper dan 5 cm (tot max. worteldiepte) (monsters van 40 boringen in grasland op kleigrond)

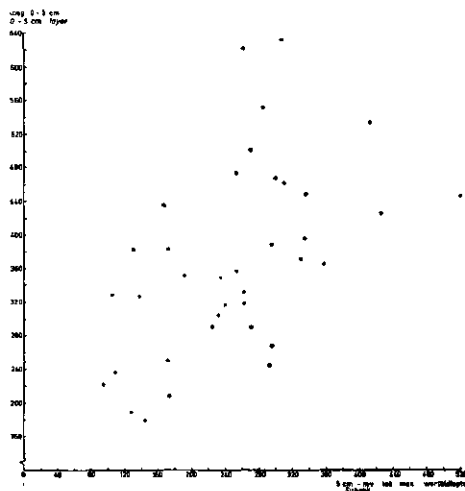


FIG. 2b.

Relation between the oven-dry weights of roots in mg in the layer of 0—5 cm and those of the subsoil layers to the maximum depth of rooting (40 drillings of grassland on clay soil)

Bovendien blijkt uit beide figuren, dat het verband van het wortelgewicht van de laag 0-5 cm met dat van de lagen daar beneden te zwak is om daarvan gebruik te maken om het wortelgewicht van de laag 0-5 cm voldoende nauwkeurig uit de diepere lagen te berekenen.

Eén van de oorzaken van het ontbreken van een vaste verhouding moet worden gezocht in de verschillen in de botanische samenstelling (J. J. SCHUURMAN, 1954). Daarnaast kunnen bodemfactoren een belangrijke rol spelen.

In het hiervoor genoemde tijdschema zijn drie belangrijke onderdelen te onderscheiden. Deze zijn achtereenvolgens:

1e het monsternemen (veldwerk),

2e spoelen en

3e naschonen,

welke beide laatste tot de laboratoriumwerkzaamheden behoren. De bewerkelijkheid van deze onderdelen neemt toe van 1 naar 3. Het leeuwendeel van het werk ligt in

het naschonen en daarna in het spoelen. Veel tijd zou dus gewonnen kunnen worden door algehele uitschakeling of vereenvoudiging van het laboratoriumwerk, b.v. door mechanisatie.

Uit de tabel blijkt, dat de grootste tijdwinst zou worden verkregen, wanneer *alle* bewerkingen te beginnen met en volgende op het spoelen konden worden vervangen door een eenvoudiger en minder tijdrovende werkwijze. Dit zou bereikt kunnen worden als men bepalingen zou verrichten in grondmonsters en dan bij voorkeur in het veld. De op deze wijze verkregen tijdbesparing kan worden geschat op ongeveer 75%. Men moet er evenwel rekening mee houden, dat deze methode in sommige gevallen niet kan worden toegepast. Dan blijft nog een tweede mogelijkheid over, nl. als de bewerkingen, volgende op het spoelen zouden kunnen worden vervangen door een eenvoudiger werkwijze. De tijdbesparing, die hierdoor verkregen kan worden kan op ongeveer 60% worden gesteld. Daar het wegen van wortelhoeveelheden in gespoelde, nageschoonde en gedroogde monsters weinig tijdrovend is, heeft het geen zin om hierbij naar een tijdbesparing te zoeken.

De aandacht gaat in de eerste twee gevallen gemakkelijk uit naar de mogelijkheid van het schatten van de wortelmassa. Bij het schatten moet men eventueel rekening houden met minder nauwkeurige resultaten. *Het schatten zal waarschijnlijk dan ook alleen toegepast kunnen worden in die gevallen, waarbij het gaat om belangrijke verschillen tussen de objecten van onderzoek.* Door ons zijn verschillende mogelijkheden in verband met het schatten onderzocht. Welke werkwijze daarbij werd toegepast, wordt in de hoofdstukken II en III uitvoerig beschreven. In hoofdstuk IV worden vervolgens richtlijnen gegeven voor de praktische toepassing.

II. HET SCHATTEN VAN WORTELHOEVEELHEDEN IN GESPOELDE MONSTERS IN FLESJES

1. GESCHOONDE MONSTERS

Dit betreft *het schatten van wortelhoeveelheden in monsters*, die wel *reeds gespoeld en nageschoond* zijn, maar nog niet *gedroogd en gewogen*. De wortels bevinden zich in flesjes, gevuld met een formalineoplossing. Hierbij wordt dus alleen het wegen der monsters vervangen.

Het schatten van deze wortelmonsters vindt plaats door vergelijking met monsters van een standaardreeks, die onder 2 wordt beschreven.

Met deze methode is een goede overeenstemming tussen geschatte en werkelijke wortelgewichten te verkrijgen. Dit blijkt uit fig. 3, waarin de resultaten op logaritmische schaal zijn weergegeven. Deze methode is alléén van betekenis wanneer de wortels voor verder onderzoek gaaf bewaard moeten blijven en er toch behoefte bestaat aan een bepaling der wortelgewichten. Onder die omstandigheden verdient het aanbeveling een uitweg in deze manier van schatten te zoeken.

Absolute drooggewichten der wortels in mg
Ovendry weights of roots in mg

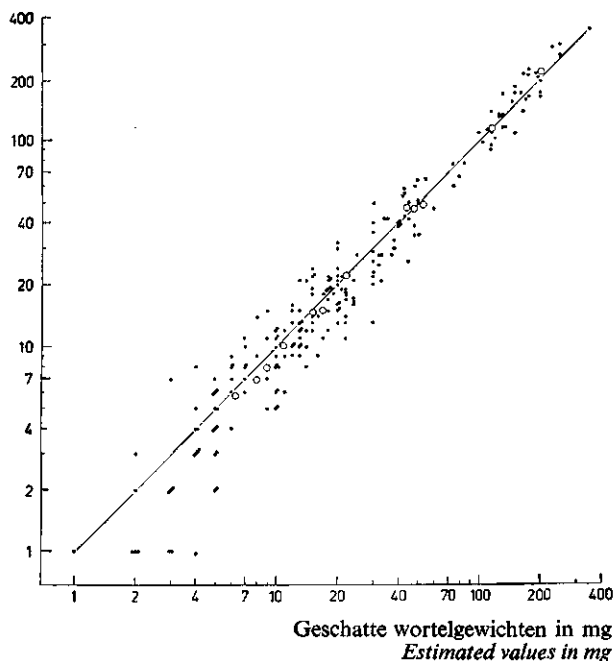


FIG. 3.
Verband tussen absolute drooggewichten der wortels per monster en geschatte waarden verkregen door vergelijking met een standaardreeks (geschoonde monsters)
Totaal 18 boringen.
○ = Gemiddelde per bemonsterde laag

FIG. 3.
Relation between the ovendry weights of roots per sample and the estimated weights obtained by comparison with a standard series (selected roots)
Total 18 drillings
○ = Averages per layer

2. ONGESCHOONDE MONSTERS

Met het schatten van wortels in gespoelde, maar nog niet nageschoonde monsters wordt een belangrijke tijdsparing in het werk bereikt (vgl. tabel 1).

Hierbij kan gedacht worden aan *relatieve* schattingen, waarbij de wortelhoeveelheid van één of meerdere monsters op 100 gesteld wordt. Bij voorkeur worden hiervoor de monsters met de grootste wortelhoeveelheden gebruikt. De hoeveelheden in de andere monsters worden in verhouding tot deze standaardhoeveelheden geschat.

FIG. 4. Standaardserie flesjes met toenemende hoeveelheden tarwe-wortels (gewichten in mg)

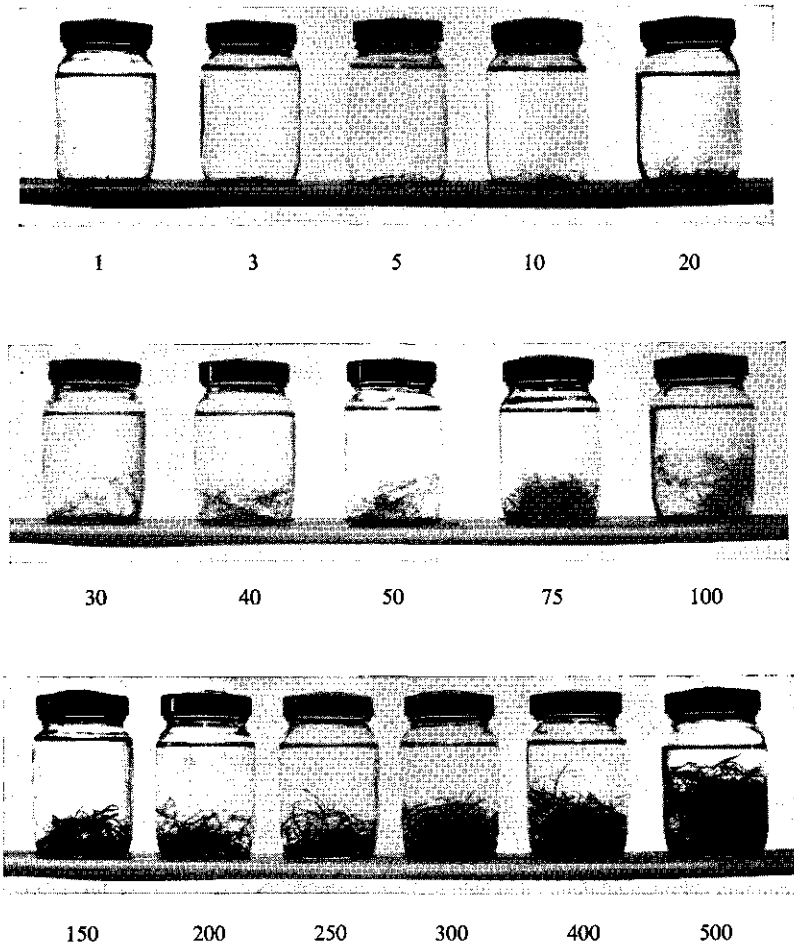


FIG. 4. Standard series of bottles with increasing amounts of wheat roots (weights in mg)

Na verschillende proefnemingen zijn we evenwel gekomen tot een methode, waarbij de wortelgewichten worden geschat met behulp van een standaardserie van monsters met bekende wortelgewichten (zie fig. 4). Deze serie is als volgt samengesteld: Van oude gedroogde wortelmonsters zijn wortels bijeengebracht tot monsters met een bekend gewicht, zodanig, dat de gewichten van deze wortelmonsters een opklimmende reeks vormen. Vervolgens zijn de wortels opgekookt in water en in flesjes van gelijke grootte verzameld. De flesjes zijn verder gevuld met water waaraan formaline is toegevoegd om het bederf van de wortels tegen te gaan.

Door verschillen in worteldikte en -bouw is het noodzakelijk meer series samen te stellen, bv. van een gewas met fijnere en van een gewas met grovere wortels. Bovendien heeft het zin enkele monsters binnen een reeks, zowel van grovere als van fijnere wortels samen te stellen i.v.m. het feit, dat de wortels van ieder gewas in de bovenste lagen bijna steeds iets grover zijn dan in de onderste lagen.

Deze monsters, die dus een standaardreeks vormen waarvan de wortelgewichten bekend zijn, worden geplaatst op een rek resp. aan een wiel (fig. 5). De wortelmonsters die geschat moeten worden, worden verzameld in flesjes van dezelfde grootte als die, welke in de standaardreeks gebruikt zijn. Door vergelijking van de te schatten monsters met de standaardreeks worden de wortelgewichten geschat.

FIG. 5. Dezelfde standaardserie flesjes van figuur 4, geplaatst aan een wiel

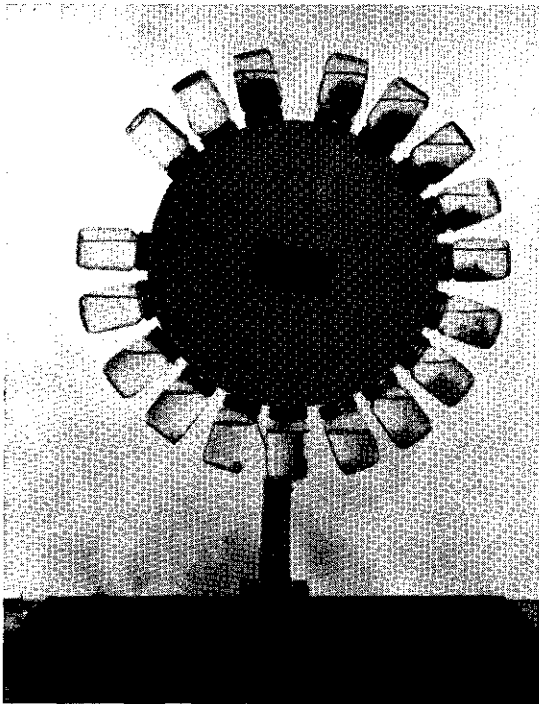


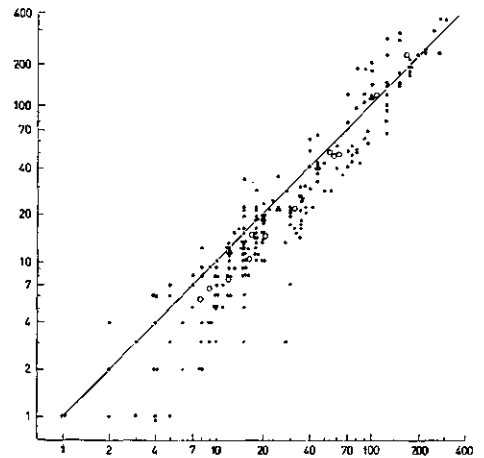
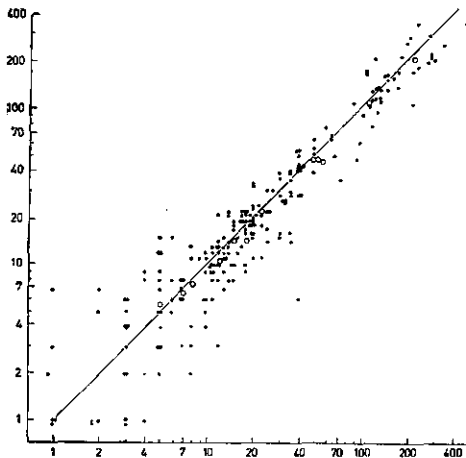
FIG. 5. The same standard series as shown in fig. 4, mounted upon a turning wheel

Bij het schatten worden alleen de wortels in het vuile monster vergeleken met monsters van de reeks. De verontreinigingen in het monster worden verwaarloosd. Het geringe contrast tussen wortels en vuil bemoeilijkt evenwel het onderkennen van wortels en het schatten is waarschijnlijk ook niet mogelijk, wanneer zeer grote hoeveelheden verontreinigingen aanwezig zijn.

Deze methode is bij bepaalde objecten toegepast.

FIG. 6. Schattingswaarden verkregen met standaardreeks (door twee personen) uitgezet tegen absolute drooggewichten (niet geschoond)
Totaal 18 boringen
○ = Gemiddelde per bemonsterde laag

Absolute drooggewichten der wortels in mg
Ovendry weights of roots in mg



Geschatte wortelgewichten in mg
Estimated values in mg

FIG. 6. *Estimated values, obtained by two persons by comparison with a standard series, plotted against the ovendry weights (impurities not selected)*
Total 18 drillings
○ = *Averages per layer*

In fig. 6 zijn de resultaten getekend van een dergelijke schatting die door 2 personen is uitgevoerd. De correlatie tussen geschatte en de na het schonen bepaalde werkelijke drooggewichten is bevredigend. Vooral het verband tussen de gemiddelde gewichten per laag en de gemiddelde schattingen per laag van één der beide personen is bijzonder goed.

III. HET SCHATTEN VAN WORTELHOEEVEELHEDEN IN GRONDMONSTERS

1. WORTELWAARNEMINGEN IN VERKRUIMELDE BOORMONSTERS

Bij het schatten van wortelhoeeveelheden in grondmonsters op het veld wordt de grootste werkbesparing verkregen.

Verschillende pogingen zijn ondernomen om gegevens van de wortelmassa in grond-(boor-)monsters te verzamelen, gegevens, die vergelijkbaar zijn met wortelgewichten. Al deze methoden hebben gemeen, dat de wortels zichtbaar moeten worden gemaakt. Dit is op verschillende manieren geprobeerd.

In 1942 zijn schattingen van de wortelmassa in grondmonsters van diverse percelen op kleigrasland in Velsen en Klundert door GOEDEWAAGEN uitgevoerd (1955). Deze monsters zijn in het laboratorium in schaaltes uitgelegd en vervolgens in grove stukken verkruid, waarbij de wortels meer of minder vrij kwamen. De wortelmassa is geschat in verhoudingscijfers. Hierbij is de wortelhoeeveelheid in de bovenste laag van elke boring op 100 gesteld en zijn de diepere lagen in verhouding tot dit monster geschat, de zgn. *verticale* schatting. Vervolgens zijn de monsters van de bovenste laag onderling vergeleken en het monster met de grootste wortelhoeeveelheid is op 100 gesteld. Dit werd de *horizontale* schatting genoemd.

Schematisch is van 5 boringen in onderstaande tabel met gefingeerde getallen de methode aangegeven.

Diepte van de laag in cm	Verticale schatting				
	Schatting van de verhoudingscijfers van de wortelmassa				
	Boringen				
	1	2	3	4	5
0—5	100	100	100	100	100
5—10	30	25	40	30	25
10—15	20	20	30	15	15
15—20	15	20	20	10	15
20—30	5	5	10	10	10
30—40	10	5	5	5	10
40—50	5	2	1	2	5

De verticale schattingswaarden zijn om te rekenen met behulp van de horizontale schattingen in de laag van 0-5 cm. In het gegeven voorbeeld krijgt men dan de volgende waarden:

	Diepte van de laag in cm	Boringen				
		1	2	3	4	5
Horizontale schatting	0—5	50	80	60	100	70
Omgerekende verticale schattingen van de verhoudingscijfers van de wortelmassa	5—10	15	20	24	30	17,5
	10—15	10	16	18	15	11,9
	15—20	7,5	16	12	10	11,9
	20—30	2,5	4	6	10	7
	30—40	5	4	3	5	7
	40—50	2,5	1,6	0,6	2	3,5

Door het omrekenen van de verticale schattingen op de horizontale, zijn alle verhoudingscijfers onderling vergelijkbaar geworden.

Uit de op deze manier gevonden wortelgegevens is geen beeld te verkrijgen van de absolute wortelgewichten, maar wel van de verhoudingen daarvan. De relatieve cijfers gaven een beeld van de verschillen in worteldichtheid, wortelverdeling en worteldiepte op de onderzochte percelen.

Met deze methode werden gegevens verkregen die bij dit onderzoek tot aardige conclusies hebben geleid.

Omstreeks 1946 werden dergelijke schattingen uitgevoerd op een graslandproefveld op humeuze zandgrond, waarbij de monsters na het schatten zijn gespoeld, zodat de schattingen met wortelgewichten waren te vergelijken. Hierbij bleken de uitkomsten nogal verschillend te zijn.

In 1948 werd het experimentele werk voortgezet. Deze bemonsteringen zijn uitgevoerd op grasland op zandgrond (J. J. SCHUURMAN, 1948). Hierbij werden de boormonsters veelal naar het laboratorium gebracht, aan de lucht gedroogd en vervolgens verkruiemd. Na het verkruiemen werden de wortels afzonderlijk verzameld op of bij de grondmassa.

Analoog aan de methode van GOEDEWAAGEN (1955) in 1942, werden horizontale en verticale schattingen uitgevoerd. Bij de horizontale schattingen zijn echter niet alleen de monsters van de bovenste laag horizontaal geschat, maar ook die van de volgende lagen. Daardoor is een mogelijkheid verkregen van controle op de eerste schattingswaarden.

De methode kan natuurlijk gecombineerd worden met een gewichtsbepaling der wortels in een *deel* der grondmonsters. De in deze monsters volgens de spoelmethode verkregen wortelgewichten kunnen dan dienst doen:

1e voor controle der schattingswaarden op deze drooggewichten en als dit resultaat goed is:

2e voor omrekening van alle schattingswaarden in gewichten.

Hierbij wordt dan echter slechts een gedeeltelijke tijdwinst verkregen.

Om de schattingsmethode bij de verkruiemde monsters beter te kunnen toetsen, werden in het onderhavige onderzoek de wortelgewichten van alle monsters met de spoelmethode bepaald en met de schattingscijfers vergeleken. De resultaten, die van verschillende schatters waren verkregen, vertoonden een enkele keer fraaie overeenstemming, maar liepen meestal zeer uiteen. Mogelijk is na routine een betere overeenstemming tussen de schattingen en gewichten te verkrijgen. Deze methode is bij enkele objecten tot ± 1952 uitgevoerd waarbij het bezwaar, dat niet alle grondsoorten goed zijn te verkruiemen, zich deed gevoelen.

In 1953 is het onderzoek naar een schattingsmethode opnieuw aan de orde gesteld. Hierbij werd de nadruk gelegd op het schatten van wortelhoeveelheden, dat *in het veld*, in *grondmonsters* en *bij alle grondsoorten* kan worden uitgevoerd.

Het eerste experimentele werk werd ten uitvoer gebracht in het voorjaar, toen de grond nog vrij vochtig was. De bemonsteringen zijn uitgevoerd in grasland op meer of minder humeus zand, op humeuze klei, op zeer zware klei en op zavelgrond. Eerst is geprobeerd de wortelmassa te schatten in verkruiemde grondmonsters. Hierbij bleek, dat het verkruiemen van het monster bij humeuze zandgrond een smeerbeel was en bij kleigrond kwam dit neer op kneden van het monster. In beide gevallen was geen overzicht van de wortelmassa in het monster te verkrijgen. Hierdoor zijn geen gegevens verzameld. Dit neemt niet weg, dat in de zomer, bij gunstige weersomstandigheden, op

droge humus-arme zandgrond het verkruiemelen van het monster ook in het veld toe te passen is. Dit is ook wel min of meer te verwachten na de door GOEDEWAAGEN in 1942 verkregen resultaten (1955). In het voorgaande is deze methode beschreven bij de periode vóór 1953. (blz. 11, 12).

2. WORTELWAARNEMINGEN OP HORIZONTALE SNIJVLAKKEN VAN HET BOORMONSTER

In 1953 zijn eveneens experimenten uitgevoerd, waarbij de *boormonsters werden doorsgesneden*. Op de snijvlakken werden de gronddeeltjes weggeprepareerd, waardoor de wortels meer of minder zichtbaar werden en vrij kwamen te liggen. Hierbij gaat evenwel een meer of minder groot deel van de fijnere wortels verloren, terwijl tevens door het smeren van de gronddeeltjes aan de wortels een onvoldoende inzicht in de dichtheid van de beworteling is te verkrijgen. Ook bij het gebruik van een leeslens blijft dit onvoldoende. Het effect, verkregen met deze manier van het zichtbaar maken der wortels, was te gering om de wortelmassa in cijfers vast te kunnen leggen.

3. WORTELWAARNEMINGEN OP HORIZONTALE BREUKVLAKKEN VAN BOORMONSTERS

a. *Het tellen van de naar buiten uitstekende worteleinden op een breukvlak van het boormonster*

In 1883 bespreekt HELLRIEGEL reeds proeven met het tellen van wortels op de doorsnee van een boormonster. Op p. 257 worden cijfers vermeld van diverse gewassen. De eerste telling vond telkens plaats op een diepte van ± 20 cm. Voor de telling werd het monsteroppervlak met een borstel behandeld om worteleinden zichtbaar te maken. Het is niet duidelijk of het monster hierbij doorsgesneden of gebroken werd.

Wij hebben het tellen toegepast op breukvlakken van monsters van gras- en bouwland. Wanneer een boormonster door een horizontale breuk in tweeën wordt gedeeld, breken de wortels meestal niet in dit zelfde breukvlak, maar deels eronder of erboven. Hierdoor wordt op de beide aangrenzende breukvlakken een aantal worteleinden zichtbaar. Deze worteleinden zijn geteld, en daarna bij elkaar opgeteld. Bij het tellen werd gebruik gemaakt van een leeslens en een prepareernaald.

Bij de monsters van de laag van 0-5 cm diepte bleek, dat de wortelhoeveelheid op het breukvlak te dicht en niet betrouwbaar te tellen is. Eén van de moeilijkheden hierbij is het grote aantal zijworteltjes. De laag van 5-10 cm is belangrijk beter te tellen, terwijl de dieper liggende lagen meestal vlot te tellen zijn. Bij het tellen valt het op, dat er een grote spreiding in de diameter van de wortels is.

Ook wanneer de laag van 0-5 cm wordt verwaarloosd, is het tellen voor een veldmethode met veel waarnemingen tijdrovend. Om deze reden is geen groot aantal waarnemingen verzameld.

De verzamelde gegevens geven echter een duidelijke aanwijzing dat het wortelaantal in verband staat met het wortelgewicht. Dit verband is bij de laag 0-5 cm minder duidelijk dan bij de diepere lagen.

b. Het schatten van de grondbedekking door naar buiten uitstekende worteleinden zonder gebruikmaking van een standaardreeks

Bij deze methode worden de boommonsters eerst *horizontaal* gebroken. Daarna wordt de door de wortels bedekte oppervlakte geschat in percenten van de totale oppervlakte van de twee breukvlakken.

De behandeling van het monster is hierbij gelijk aan de onder 3a beschreven methode. De hoeveelheid wortels, die op het breukvlak voorkomt wordt echter niet geteld. Afgezien van het *aantal* wortels, gaat het nu om de oppervlakte grond die door de wortels (zichtbare zijwortels op korte afstand van het breukvlak inbegrepen), bedekt wordt. Bij het schatten moet steeds loodrecht op het breukvlak gekeken worden. De door wortels bedekte oppervlakte wordt geschat in percenten van de totale oppervlakte van het horizontale breukvlak.

De oppervlakte van een *glad* breukvlak wordt als totale oppervlakte beschouwd. Bij de gebruikelijke boommonsters met een diameter van 4 of 7 cm is dit resp. 12,56 en 38,47 cm². Hierbij wordt dus de grotere oppervlakte, die door de onregelmatigheden van een breukvlak wordt veroorzaakt, verwaarloosd. In verband hiermee moet men bij het schatten dus steeds loodrecht op het breukvlak kijken.

Om de bedekking van de hoeveelheid wortels op een breukvlak te schatten worden alle wortels in gedachten aanéén geschoven en wordt de met wortels bedekte oppervlakte in percenten van het breukvlak aangegeven. Om het percentage van de oppervlakte, dat door wortels bedekt is, zo goed mogelijk te schatten, zijn met een prepareernaald op het breukvlak sectoren aangegeven. De waarde, die op deze manier is verkregen, wordt „wortelbedekking” genoemd.

Bij het breken van een monster ontstaan op de plaats van de breuk twee aangrenzende breukvlakken. Het breukvlak dat voorkomt aan het bovenste gedeelte van het monster noemen we het *eerste*, het aangrenzende het *tweede* breukvlak. Op het eerste breukvlak komen wortels voor die getrokken zijn uit het tweede en op het tweede breukvlak wortels uit het eerste breukvlak. Hieruit volgt, dat het monster op de plaats van de breuk doorworteld is met de *som* van de wortelbedekkingen op de beide aangrenzende breukvlakken. De som van de wortelbedekkingen van twee breukvlakken is aangeduid met „wortelbedekkingsgetal”.

Voorbeeld:

Wortelbedekking 1e breukvlak =	8%
Wortelbedekking 2e breukvlak =	5%
	+ —
Wortelbedekkingsgetal	13%

Het wortelbedekkingsgetal van de breuk op de helft van de lengte van het monster wordt representatief geacht voor het gehele monster. Om de beworteling in het monster aan te geven wordt het wortelbedekkingsgetal met de lengte van het monster in cm vermenigvuldigd. Het gevonden cijfer wordt aangegeven met „wortelgetal”.

Voorbeeld:

Wortelbedekkingsgetal =	13%
Monsterlengte =	10 cm
	× —
Wortelgetal	130

Het begrip *worteldichtheid* kan hier in strikte zin niet worden gebruikt, omdat hier geen sprake is van een dichtheid, terwijl bovendien in de literatuur over wortelonderzoek dit begrip reeds een eigen betekenis heeft.

Ook kan men niet spreken van *wortelinhoud*, omdat de wortelbedekking niet in cm^2 worteloppervlakte maar in % van het totale oppervlak wordt geschat en dus bij vermenigvuldiging met de lengte van het monster geen werkelijk inhoudsgetal geeft.

Voorshands is vastgehouden aan de term wortelgetal. Vermeden moet worden het wortelgetal als wortelaantallen te interpreteren.

FIG. 7. Verband tussen gemiddeld drooggewicht der wortels en wortelgetal van een aantal objecten.

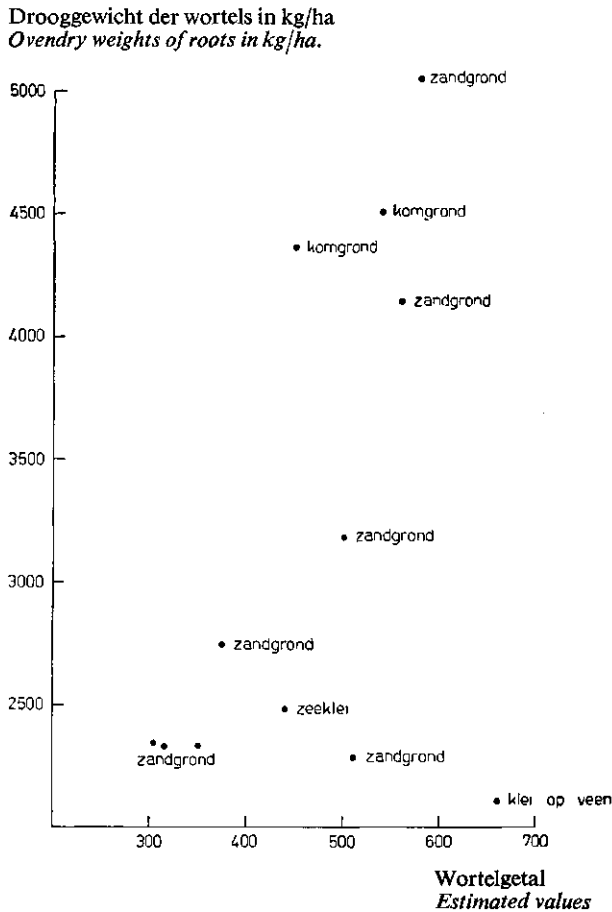


FIG. 7. Relation found between the averages of the root weights and the estimated amounts of roots in various plots

Zandgrond = sandy soil
Komgrond = river basin clay
Zeeklei = marine clay
Klei op veen = clay upon peat

Met deze schattingsmethode zijn enkele gegevens verzameld. Bij het vergelijken met het wortelgewicht is dit laatste omgerekend tot kg/ha. Dit heeft een bepaalde reden. De wortelbedekking wordt geschat in procenten van het breukvlak. Hierbij is het onverschillig of een monster een diameter van 4 of 7 cm heeft. Om het gevonden wortelgewicht ook onafhankelijk te maken van de grootte van het boormonster is dit omgerekend tot kg/ha.

Bij het vergelijken van wortelgetallen met wortelgewichten bleek, dat de verhouding der schattingswaarden van de monsters behoorlijk overeenkwam met die der gewichten, wanneer men beide uitdrukt in procenten van het totaal. Dit geldt voor iedere boring afzonderlijk. Vergelijkt men evenwel de schattingswaarden van meerdere boringen met de bijbehorende wortelgewichten, dan blijkt er per boring op geheel verschillende niveaus te zijn geschat (zie fig. 7).

De resultaten waren dus niet onverdeeld gunstig.

In 1953 onderging de schattingsmethode een kleine verandering. In de monsters van 0-10 à 20 cm is de wortelbedekking in percentages geschat zoals hiervoor is beschreven. Vervolgens is een monster met een percentage van 3 à 5% op 100 gesteld en zijn de wortelhoeveelheden in de volgende lagen met een geringere bedekking in een verhoudingscijfer uitgedrukt. Bij het verwerken van de schattingsgegevens zijn deze verhoudingscijfers omgerekend tot wortelbedekkingscijfers.

Bij het vergelijken van de geschatte cijfers met de gewichten bleek weer, dat tussen de schattingswaarden en de wortelgewichten niet de gewenste overeenstemming was verkregen. In de procentuele verdeling was de overeenstemming eveneens weer behoorlijk.

Om na te gaan of de overeenstemming tussen het wortelgetal en wortelgewicht te verbeteren was, is in 1954 nog meer in verhoudingscijfers geschat. Hierbij werd niet alleen de laag met 3 à 5% bedekking op 100 gesteld, maar ook werden monsters van dezelfde laag uit verschillende boringen in verhouding tot één dezer monsters geschat. De resultaten van deze schattingen waren echter gelijk aan die van 1953. Tevens bleek weer het nadeel van verhoudingscijfers, waarbij een schattingsfout van een monster op andere monsters overgedragen wordt.

In de verhouding van het wortelgewicht tot het wortelgetal — $\frac{\text{wortelgewicht kg/ha}}{\text{wortelgetal}}$

— werd voor grasland een spreiding gevonden van 20-78. Hieruit volgt, dat het wortelgewicht onmogelijk uit het met deze methode van schatten verkregen wortelgetal kan worden berekend. Verder bleek dat de procentuele verdeling per laag, verkregen uit de wortelgetallen een bevredigende overeenstemming gaf met die, verkregen uit de wortelgewichten. Dit gezamenlijke resultaat met deze methode was dus onvoldoende, hetgeen werd toegeschreven aan het feit, dat de schatter tijdens zijn werkzaamheden onvoldoende een goed niveau kon vasthouden, doordat hij geen vergelijkingsobject bij de hand had. Daarom is in 1955 getracht om een vergelijkingsobject te maken door de wortelplukjes op de breukvlakken van de monsters na te bootsen op figuren.

c. Het schatten van de wortelbedekking met behulp van een standaardreeks van stippenfiguren

Hiervoor zijn cirkelvormige figuren getekend op een vel wit papier. Deze figuren hebben een doorsnee die overeenkomt met die van de monsters. Op deze cirkelvormige

FIG. 8. Enkele figuren uit de standaardreeks voor monsters met een doorsnee van 4 cm (iets verkleind)

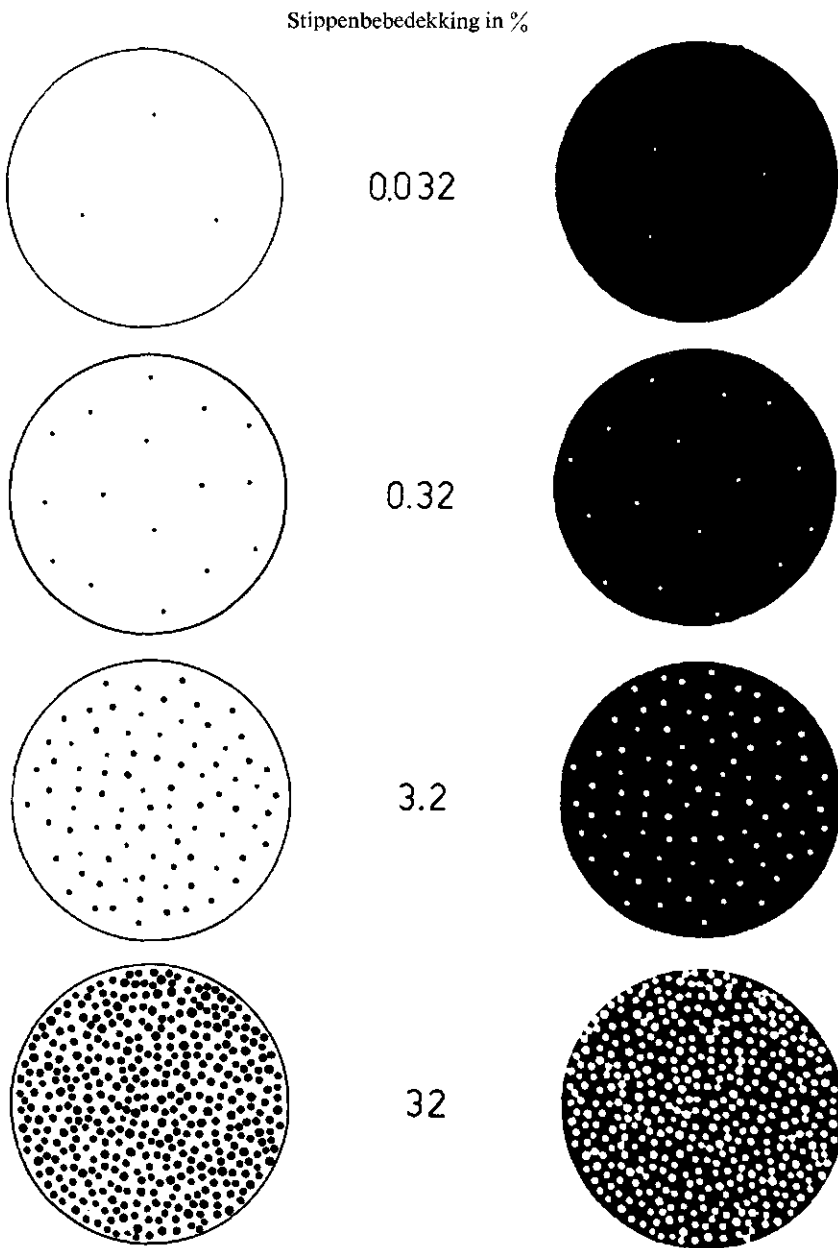


FIG. 8. Demonstration of some diagrams from a standard series. Percentages of the area covered by the dots.

figuren zijn donkere stippen aangebracht met een doorsnee, die ongeveer aangepast is bij die van wortels. De gezamenlijke oppervlakte van de stippen in elke figuur is bekend. De geleidelijke overgangen in de stippenfiguren zijn verkregen: 1e door het stippenaantal en de stippenbedekking in de opeenvolgende figuren met een vaste factor te doen toenemen, en 2e door in de doorsnee van de stippen in elke figuur een spreiding toe te passen. Ten behoeve van de nauwkeurigheid van de stippengrootte zijn de figuren eerst 5 keer te groot getekend en daarna gefotografeerd op monstergrootte. De foto's van de figuren zijn uitgevoerd met zwarte stippen op een wit veld en witte stippen op een zwart veld. Hiervoor bestonden verschillende redenen. Figuren met zwarte stippen op een wit veld geven een groter contrast dan witte stippen op een zwart veld. Witte stippen op een zwart veld stemmen meer overeen met wortels op een monsterbreukvlak, terwijl bij het gebruik van witte stippen de ogen van de schatter ook minder snel vermoeid raken.¹ In fig. 8 zijn enkele figuren van de standaardreeks voor grasland met figuren van 4 cm diameter weergegeven. De stippenbedekking van elke figuur is bekend. In de volledige reeks loopt deze bedekking op van 0.02% tot 40%. Om in het veld het noteren te vereenvoudigen wordt de bedekking ook wel in een codeletter aangegeven. Deze gegevens moeten dan naderhand weer gedecodeerd worden.

d. Bespreking der resultaten verkregen met stippenfiguren

Op een op zand gelegen *grasperceel* zijn in totaal 50 boringen uitgevoerd met het doel de standaardfiguren te toetsen. Op de botanische samenstelling van de grasmat is niet gelet. Bemonsterd is met een boor van 4 cm diameter, waarbij monsters van de volgende lagen zijn verzameld: 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30; enz. . . . tot 80 à 90 cm diepte. De monsters van de boringen 1 t/m 25 zijn in het veld geschat met behulp van figuren met witte stippen op een zwart veld, terwijl de figuren met zwarte stippen op een wit veld bij de boringen 26 t/m 50 zijn gebruikt. Alle figuren hadden een doorsnee van 4 cm.

Het schatten is uitgevoerd door de monsters van 5 cm lengte 1 keer te breken, waarbij de wortelbedekking op twee breukvlakken is geschat. Voor het berekenen van het wortelgetal voor deze monsters is het wortelbedekkingsgetal vermenigvuldigd met 5.

De monsters van 10 cm lengte zijn in het algemeen 3 keer gebroken, waarbij op zes breukvlakken de wortelbedekking is geschat. Voor deze monsters is het gemiddelde wortelbedekkingsgetal vermenigvuldigd met de monsterlengte.

De wortelgewichten zijn in het laboratorium met behulp van de spoelmethode in mg bepaald. Deze gewichten zijn vervolgens omgerekend in kg/ha.

Van de monsters, verkregen bij de boringen 1 t/m 25 (standaardfiguur met witte stippen) is de correlatie van het wortelgetal met het wortelgewicht in fig. 9 weergegeven.

In de volgende figuur (no. 10) is de correlatie van het wortelgetal met het wortelgewicht van de monsters verkregen bij de boringen 26 t/m 50 weergegeven. Hierbij zijn figuren met zwarte stippen gebruikt.

Beide figuren geven onderling geringe verschillen. De correlatie is duidelijk en de spreiding is vrijwel gelijk. De samenhang is echter niet rechtlijnig. De top van de stippenzwerm buigt af naar rechts. Deze top valt samen met de laag 0-5 cm. Hier is in ver-

¹ Na overleg met DR. BOUMAN van de Werkgroep Waarneming T.N.O. zijn in verband hiermee nu figuren gemaakt met lichtgroene stippen op donkerbruin veld op lichtgroene achtergrond.

FIG. 9.

Correlatie tussen schattingswaarden en bijbehorende drooggewichten der wortels van 25 boringen (± 250 monsters) in grasland op humeuze zandgrond, (witte stippen op zwart veld)

Drooggewicht der wortels in kg/ha
Ovendry weights of roots in kg/ha

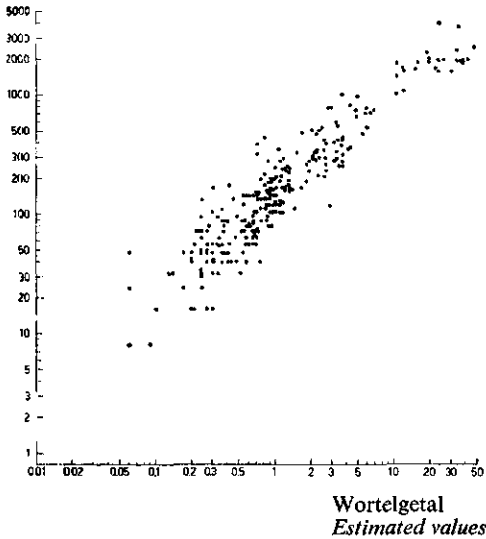


FIG. 9.

Relation between the oven-dry weights of roots of about 250 samples of grassland on humous sand and the estimated values, obtained by comparison with a standard series with white dots

FIG. 10.

Correlatie tussen schattingswaarden en bijbehorende drooggewichten der wortels van 25 boringen (± 250 monsters) in grasland op humeuze zandgrond, (zwarte stippen op wit veld)

Drooggewicht der wortels in kg/ha
Ovendry weights of roots in kg/ha

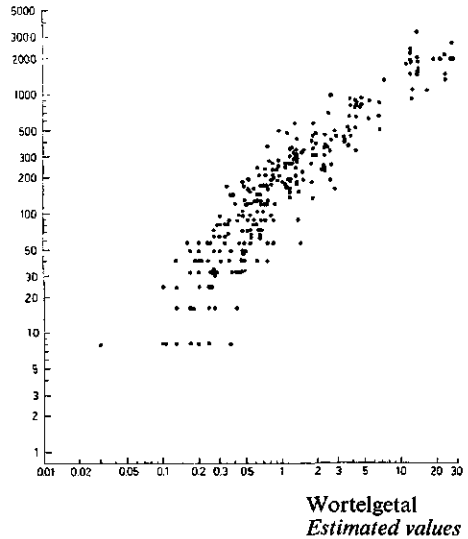


FIG. 10.

Relation between the oven-dry weights of roots of about 250 samples of grassland on humous sand and the estimated values, obtained by comparison with a standard series with black dots

houding tot de andere lagen te hoog geschat. Gezien deze afwijking is de correlatiecoëfficiënt niet berekend.

De spreiding van de wortelhoeveelheden per boring binnen dezelfde laag kan worden uitgedrukt in een standaardafwijking s . Men krijgt in dit geval per laag twee standaardafwijkingen, één van het wortelgewicht en één van het wortelgetal. Voor het vergelijken van de verschillende lagen is overgegaan op de relatieve standaardafwijking $s\%$.

Het blijkt, dat er weinig verschil is tussen de s -percenten van de boringen per laag als deze bepaald worden met behulp van het wortelgetal en het wortelgewicht.

Gevonden werd 43,7 en 43,8 bij de boringen 1 t/m 25, terwijl dit bij de boringen 26 t/m 50 = 42,9, resp. 48,2 was (tabel 2).

TABEL 2. Het s% van wortelgewicht en wortelgetal bij 25 boringen

Bemonsterde laag in cm	Geschat met figuren met een doorsnede van 4 cm (gras)				Geschat met figuren met een doorsnede van 7 cm (haver)	
	zwarte stippen		witte stippen		witte stippen	
	wortel-gewicht	wortel-getal	wortel-gewicht	wortel-getal	wortel-gewicht	wortel-getal
0—5	24,3	34,1	33,4	51,6	} 29,5	43,1
5—10	25,4	28,5	33,4	45,3		
10—15	31,0	42,2	37,3	48,4	} 34,2	26,8
15—20	37,7	53,3	38,0	55,0		
20—30	41,1	57,0	45,2	54,0	31,0	27,5
30—40	40,7	47,1	29,8	29,7	36,2	37,0
40—50	47,6	36,9	43,7	24,7	34,9	28,6
50—60	62,5	33,3	40,1	35,7	39,1	34,8
60—70	70,2	42,9	41,7	35,3	56,1	47,4
70—80	72,2	45,5	77,3	45,5	53,1	52,8
80—90					60,9	63,2
90—100					44,3	50,0
Gemiddeld Average	48,2	42,9	43,8	43,7	43,2	42,7
Layer sampled	Root weights	Estim. values	Root weights	Estim. values	Root weights	Estim. values
	Black dots		White dots		White dots	
	Estimated with a standard series with a diameter of 4 cm (grassland)				Estimated with a standard series with a diameter of 7 cm (oats)	

TABLE 2. Variation between the 25 samples of various layers expressed in s%

Op een willekeurige plek van een *haverperceeltje* zijn in augustus voor hetzelfde doel als de bemonstering op grasland, 25 boringen uitgevoerd op een bijna onkruidvrije haverrij.

Bemonsterd is met een boor van 7 cm diameter, terwijl de volgende lagen zijn onderscheiden: 0-10; 10-20; 20-30; enz. tot 90 à 100 cm diepte.

Voor deze bemonstering is de standaardreeks met figuren met een doorsnee van 7 cm met witte stippen op een zwart veld gebruikt.

Bij het bemonsteren was de laag van 0-10 cm iets droog. Dit gaf aanleiding tot enige verkrumeling van de monsters uit deze laag.

De monsters van de laag 0-10 cm zijn voor het schatten in het algemeen 2 × gebroken. Hierbij werd van vier breukvlakken de wortelbedekking geschat. De monsters van de volgende lagen zijn in het algemeen 3 × gebroken, waardoor dus op zes breukvlakken kon worden geschat. Vervolgens zijn de wortelgetallen van de verschillende lagen berekend, zoals op blz. 14 is beschreven.

Van deze monsters zijn eveneens in het laboratorium de drooggewichten der wortels in mg bepaald en in kg/ha omgerekend.

In fig. 11 is het verband tussen het wortelgetal en het wortelgewicht van alle monsters in tekening gebracht. In deze figuur is een duidelijke overeenkomst met de correlatiefiguren van het grasland op te merken. Bij haver wordt ook gevonden, dat punten van de bovenste laag (0-10 cm) in de puntenzwerm naar rechts afbuigen.

Drooggewicht der wortels in kg/ha
Ovendry weights of roots in kg/ha

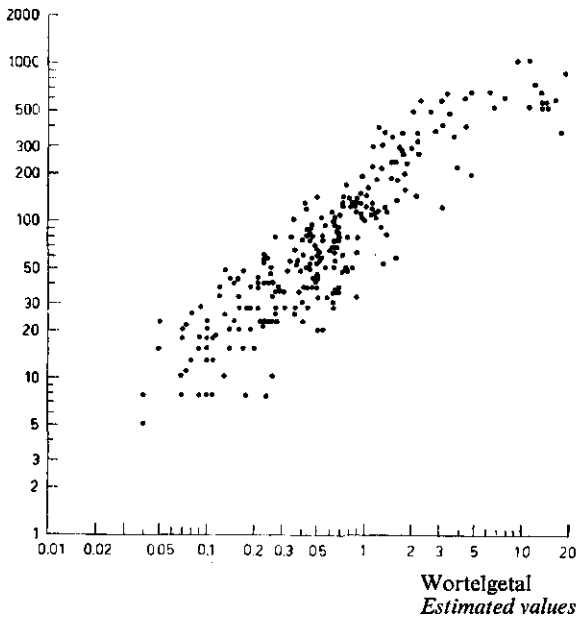


FIG. 11.
Correlatie tussen schattingswaarden en bijbehorende drooggewichten der wortels van 25 boringen (± 250 monsters) in haver op humeuze zandgrond, (witte stippen op zwart veld)

FIG. 11.
Relation between the oven-dry weights of roots of about 250 samples of oats on humous sand and the estimated values obtained by comparison with a standard series with white dots

De gemiddelde spreiding tussen de boringen per laag, die gevonden wordt bij de wortelgetallen is, uitgedrukt in $s\%$, 42,7; die van de wortelgewichten 43,2. In tabel 2 zijn de $s\%$ per laag aangegeven.

De conclusies, die uit deze gegevens zijn af te leiden, komen geheel overeen met die, welke bij grasland gevonden waren. Vastgesteld is, dat voor het gemiddelde van deze 25 boringen de spreiding van het wortelgetal een behoorlijke overeenstemming vertoont met die van het wortelgewicht.

De overeenstemming tussen de resultaten van de verschillende bemonsteringen maakt het mogelijk om het materiaal gezamenlijk te bespreken. In fig. 12 zijn het gemiddelde wortelgetal en wortelgewicht per laag van de 3 objecten afzonderlijk in één correlatiefiguur getekend. Uit deze figuur blijkt, dat de schattingen op grasland met de standaardreeks met zwarte stippen over de gehele linie lager zijn uitgevallen dan die met witte stippen op zwarte achtergrond.

FIG. 12. Correlatie tussen het gemiddelde wortelgetal en het drooggewicht der wortels per laag.

● Gras, boring 26 t/m 50 (zwarte stippen)

▲ Gras, boring 1 t/m 25 (witte stippen)

■ Haver, 25 boringen (witte stippen)

¹⁾ = 1 waarneming

²⁾ = 5 waarnemingen

Drooggewicht der wortels in kg/ha

Ovendry weights of roots in kg/ha

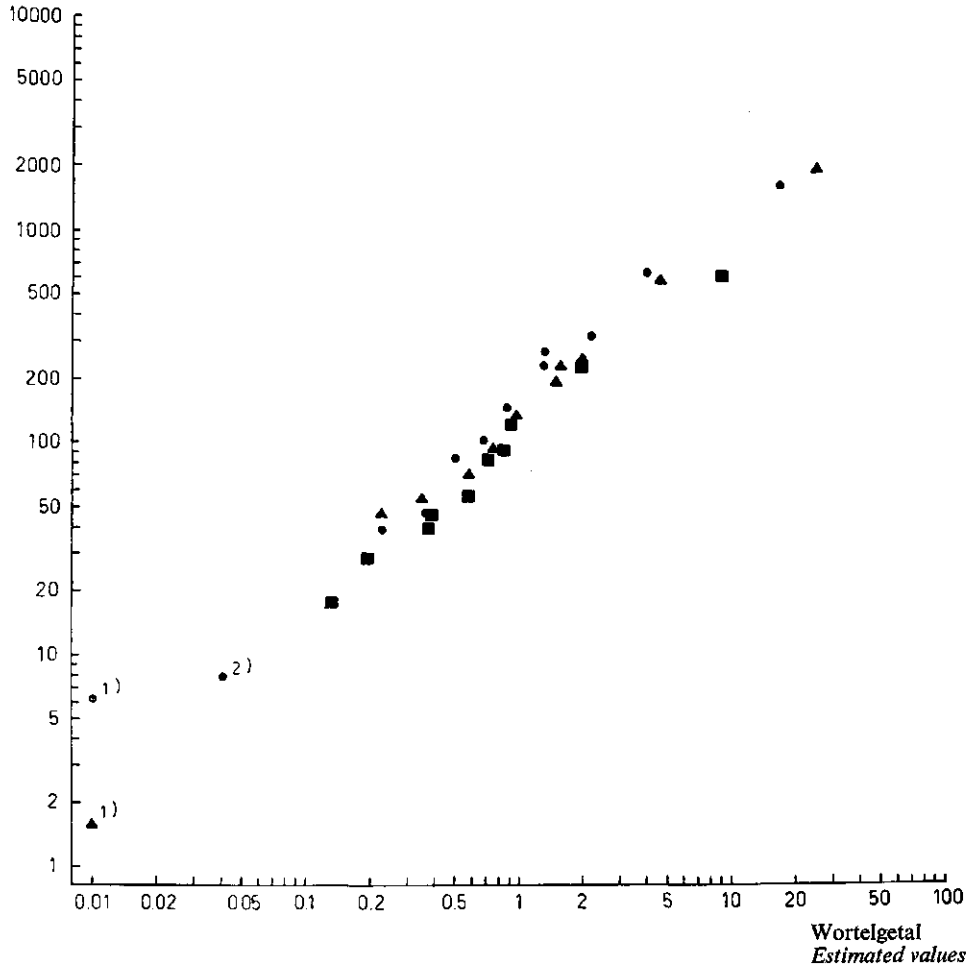


FIG. 12. Relation between the average root weights per soil layer and the average estimated values.

● Grassland, estimated with black dots

▲ Grassland, estimated with white dots

■ Oats, estimated with white dots

¹⁾ = 1 sample

²⁾ = 5 samples

Het verschil tussen het gebruik van figuren met zwarte en witte stippen lijkt ons aanmerkelijk. Een zwarte stip op een wit veld geeft een grotere indruk dan een witte stip van dezelfde diameter op een zwart veld. Onze conclusie is dan ook, dat standaardfiguren met zwarte en witte stippen niet door elkaar gebruikt mogen worden.

Het was ons ook reeds bij vroegere bemonsteringen gebleken, dat kleine verschillen in de opbouw van de standaardreeks van invloed waren op het schatten van de wortelbedekking. Dit resultaat bevestigt nog eens, dat het voor de vergelijkbaarheid van de gegevens noodzakelijk is om bij alle bemonsteringen dezelfde standaardreeks te gebruiken.

In fig. 12 valt het verder op, dat het gemiddelde wortelgetal van de onderste twee lagen bij één van de bemonsteringen op grasland uit de toon valt. In deze serie is geschat met witte stippen. Beide gemiddelden wijken af naar links. Het vermoeden bestaat, dat de oorzaak moet worden gezocht in de geringe ervaring, die in april nog maar was verkregen met figuren met witte stippen.

De samenhang van het wortelgetal met het wortelgewicht is bij het gebruik van standaardreeksen, die in opbouw en kleur aan elkaar gelijk zijn, van dien aard, dat resultaten van bemonsteringen met 4 en 7 cm boordiameter, met elkaar vergeleken kunnen worden. Om deze reden worden bij de volgende bespreking het grasobject (boring 1 t/m 25) en haver samengenomen.

In het voorgaande werd bij de bespreking van de bemonsteringen reeds de afwijking genoemd, die gevonden werd bij de laag 0-5 resp. 0-10 cm. In de samenvattende figuur wijkt het wortelgetal van de laag van 0-5 cm van gras af naar rechts. Alhoewel het wortelgewicht van de laag 0-10 cm bij haver behoorlijk lager ligt en blijkt overeen te komen met het wortelgewicht van de laag van 5-10 cm bij grasland, is bij deze laag de afwijking van het wortelgetal even groot als die van de laag van 0-5 cm bij gras. Het zou mogelijk kunnen zijn, dat de afwijking niet inheret is aan de hogere wortelgewichten, maar eigen is aan de bovenste (0-5 resp. 0-10 cm) grondlaag.

Voor de verklaring van deze afwijking kunnen verschillende mogelijkheden worden genoemd.

In de eerste plaats kan men zich afvragen of *de kleur en de habitus van de wortels* oorzaak kunnen zijn van het te hoog schatten. Om dit te kunnen beoordelen is een aantal monsters van de bovenste (0-5 resp. 0-10 cm) laag opgekookt en beoordeeld. Hierbij werden monsters genomen die te hoog waren geschat en monsters die goed waren geschat. Tussen deze twee groepen werden echter geen overtuigende verschillen gevonden.

Nagegaan is of verschillen in *vochtigheid van de grond* en eventuele verschillen in *grondsoort* van invloed zijn geweest. Het forceren van een breuk in het grondmonster door middel van tafelvorken moet ook in dit verband genoemd worden. Hierbij wordt gedacht aan het wegvallen van gronddeeltjes van het te schatten breukvlak. Dit zou oorzaak kunnen zijn, dat meerdere gebroken wortels op beide aangrenzende breukvlakken zichtbaar waren en daardoor dubbel geschat worden. De besproken bemonsteringen vonden plaats op zandgrond. Alhoewel het niet meer is na te gaan, is het toch zeer waarschijnlijk, dat de grond bij de bemonstering op grasland in april vochtiger was dan bij de bemonstering van haver in augustus. De afwijking van het wortelgetal bij haver is relatief groter dan die van het wortelgetal bij gras. Dit kan een aanwijzing zijn, dat de schatting in een bepaalde richting beïnvloed is door het *wegvallen van droge zandkorrels*. In dit verband is het misschien belangrijk dat bij vroegere bemonsteringen van grasland op kleigrond aanwijzingen zijn gevonden, dat in het wortelgetal van de

laag 0-5 cm slechts een geringe afwijking voorkwam, of dat deze afwijking links van een rechte lijn was gelegen.

Een andere mogelijkheid kan schuilen in *de diameter van de stippen* in de figuren. Om bij het tekenen van een grote stippenbedekking raakpunten van de stippen te

FIG. 13. Correlatie tussen wortelgetal en drooggewicht der wortels (Witte stippen op zwart veld)
Totaal \pm 550 monsters
▲ Schattingen van graswortels afkomstig uit Mitscherlichpotten.

Drooggewicht de wortels in kg/ha
Ovendry weights of roots in kg/ha

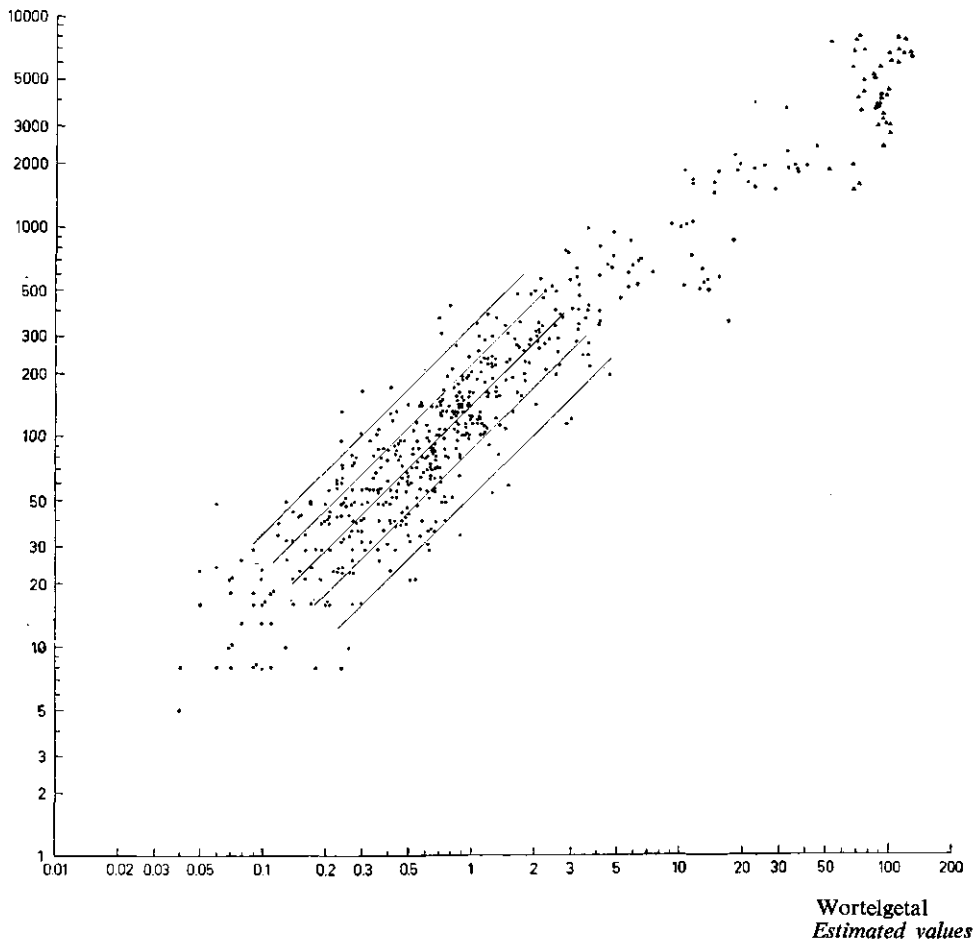


FIG. 13. Relation between the oven-dry weight of the roots and the estimated values, obtained by comparison with a standard series with white dots
Total number of samples: about 550
▲ Estimation of grass roots from Mitscherlich pots

vermijden is de doorsnee groter gemaakt. Deze komt daardoor slechts overeen met die van grove tot zeer grove wortels, waardoor de vergelijking van de fijnere wortels bevoorrecht wordt. Dit zou aanleiding kunnen geven tot een fout in een bepaalde richting.

Tenslotte kan in de bovengrond *het gewicht* per oppervlakte-eenheid *der wortels* lager zijn dan in de ondergrond.

Het ontbreekt ons aan gegevens om de invloed van genoemde factoren op de schatting van de wortelbedekking afdoende aan te tonen. Samenvattend kan worden opgemerkt, dat de afwijking van het wortelgetal in de bovenste laag nog niet verklaard kon worden en dat aan de oorzaken hiervan in de toekomst de nodige aandacht geschonken zal moeten worden.

Van de monsters, die geschat zijn met behulp van de standaardreeks figuren met witte stippen, is het verband van het wortelgetal met het wortelgewicht in een correlatiefiguur aangegeven (fig. 13). Totaal zijn dit ± 550 monsters, waaronder ook boringen in Mitscherlichpotten met zeer grote hoeveelheden wortels. Bij de bespreking van figuur 12 zijn reeds de afwijkingen van enkele onderste punten en de punten van de laag 0-5 cm genoemd. Deze afwijkingen komen ook in figuur 13 voor, maar uit deze figuur blijkt, dat de in het voorgaande gevonden afwijking bij de grote wortelhoeveelheden naar boven toe relatief even groot blijft.

In een belangrijk deel van de stippenzwerm in deze figuur wordt tussen wortelgetal en wortelgewicht een behoorlijke overeenstemming gevonden. In dit deel van de figuur wordt een wortelgewicht van 20 tot 400 kg/ha gevonden. In dit traject liggen ± 390 waarnemingen. In de stippenzwerm van dit traject is zo goed mogelijk een gemiddelde lijn getrokken, die recht is. Aan weerszijden van het gemiddelde zijn de grenzen aangegeven van 1 resp. 2 s.

Tot nu toe hebben we bij verschillende onderzoeken steeds dezelfde gemiddelde lijn gevonden. Dit geeft ons aanleiding om uit de spreiding van figuur 13 rond deze gemiddelde lijn iets te zeggen over de $s\%$ per monster van de weeg- en schattingsmethode. Hoewel de $s\%$ van de schatting in principe niet te scheiden is van de $s\%$ van de weging, kan toch wel worden geconcludeerd, dat de $s\%$ van de schatting + weging $> ca\ 30$ en dat de $s\%$ van de schatting $< ca.\ 42$ en de $s\%$ van de weging $< ca.\ 42$ is.

Uit tabel 2 bleek reeds, dat de standaardafwijking van de boringen per laag binnen één profiel $ca\ 45\%$ bedroeg. Aangezien deze spreiding toegeschreven moet worden aan minstens twee componenten, waarvan de schatting of weging er een is, moet ook op grond hiervan worden aangenomen, dat $s\%$ schatting en $s\%$ weging $< ca.\ 45$ zijn.

Door de middelste rechte lijn in genoemde figuur 13 wordt een constante verhouding weergegeven tussen het wortelgetal en het wortelgewicht. Deze is gelijk aan

$$\frac{\text{wortelgewicht kg/ha}}{\text{wortelgetal}} = \pm 145.$$

Zou men de wortelbedekking in cm^2 schatten en met de lengte van het monster vermenigvuldigen dan is de *inhoud* aan verse wortels in het monster bepaald. Nemen we als voorbeeld een bedekkingsgetal van 0,1% en een monsterlengte van 10 cm, dan is het wortelgetal = 1. In deze laag wordt per ha $1\ m^3$ verse wortels gevonden. Het drooggewicht van deze wortels is dan te berekenen met behulp van het soortelijk gewicht en het percentage droge stof van verse wortels. Deze waarden zijn ons van verse wortels niet nauwkeurig bekend, maar we kunnen ze bij benadering stellen op 1,1 en 12%. In de genoemde laag wordt dan een drooggewicht aan wortels gevonden van 132 kg/ha.

De verhouding die hierbij wordt gevonden is $\frac{\text{wortelgewicht kg/ha}}{\text{wortelgetal}} = \frac{132}{1} = 132$.

Dit getal ligt dus wel in de orde van grootte van het getal, dat verkregen is bij schattingen in boormonsters.

IV. RICHTLIJNEN BIJ DE PRAKTISCHE TOEPASSING VAN DE SCHATTINGSMETHODE MET BEHULP VAN STIPPENFIGUREN

1. Deze richtlijnen gelden voorlopig alleen voor onderzoek bij graangewassen, (met uitzondering van maïs) grasland en grassoorten.
2. Bij het bemonsteren van een gewas is het goed om vooraf het wortelstelsel ervan te bekijken. Dit is heel goed mogelijk in een profielkuil. Een deel van een wortelstelsel wordt daarvoor uit een wand van de kuil vrij geprepareerd. Hierbij raakt men iets ingesteld op de kleur en habitus van de wortels.
3. Ondanks het in punt 2 gestelde is het gewenst onkruidplekken in het gewas bij het bemonsteren te vermijden. Dit mag evenwel niet zo ver gaan, dat men geen representatief monster van het gewas meer krijgt.
4. Bij het boren van monsters moet de boor niet of zo weinig mogelijk gedraaid worden. Is de gewenste diepte met de boor bereikt, dan wordt de boor opzettelijk één of twee keer gedraaid, waarbij het monster wordt afgedraaid of losgebroken van het onderliggende deel van het profiel. Dit afdraaien heeft tot doel, dat de wortels in het monster zo goed mogelijk afbreken op de gewenste monsterlengte. Tussentijds draaien van de boor kan tot gevolg hebben, dat de wortels in het monster op ongewenste plaatsen breken. Dit maakt het schatten van de wortelbedekking onmogelijk.
5. Bij verschillende profielen komt het voor, dat het monster op een bepaalde plek gemakkelijk breekt. Dat kan bijvoorbeeld het geval zijn bij een zandlaagje in een kleiprofiel. Het gemakkelijk breken op een bepaalde plaats in het monster staat mogelijk in verband met een geringe beworteling op deze plek. Naast het aantekenen van deze profielverschillen is het noodzakelijk om bij een dergelijke waarneming in het monster meerdere breuken te forceren.
6. Bij het breken van het monster moet de rand van het breukvlak gaaf blijven, d.w.z. de rand mag niet afbrokkelen. De oppervlakte van een afgebrokkeld breukvlak komt niet met de oppervlakte van de stippenfiguren overeen. Om het afbrokkelen tegen te gaan is het gewenst om bij het breken de volle hand om het monster te slaan.
7. Het monster van de laag van 0-5 cm geeft bij het breken vaak de grootste moeilijkheid. Het breken kan het beste plaats vinden door middel van twee tafelvorken. Na het breken moet de hoeveelheid wortels gefatsoeneerd worden. Hierbij is een prepareernaald een goed hulpmiddel.
8. Bij het breken kunnen gronddeeltjes aan wortels blijven hangen. Het is dan gewenst zacht tegen het monster te kloppen. Eventueel kunnen nog aanhangende gronddeeltjes met een pincet worden verwijderd.

9. De hoeveelheid wortels op een breukvlak kan soms, met het overeind plaatsen van het monster, omvallen of gaan „legeren”. Het legeren van de wortels beïnvloedt het schatten van de wortelbedekking. Om dit te voorkomen moeten de worteleinden tot maximaal 1 cm lengte ingekort worden. Dit kan gemakkelijk met een schaar uitgevoerd worden.
10. Horizontaal liggende wortelstokken geven belangrijke moeilijkheden. Betreft het gewassen, waarbij wortelstokken verwacht kunnen worden, dan moeten *alleen* de wortels aan de onderaardse stengeldelen geschat worden. Bij gewassen zonder wortelstokken is het te proberen de ingedrongen wortelstokken weg te prepareren zonder het monster en de wortels te beschadigen.
11. Op het breukvlak kunnen stoppelresten en andere verontreinigingen voorkomen. Dergelijke verontreinigingen kunnen met een pincet verwijderd worden.
12. Directe zonnestralen op het monster benadelen de omstandigheden voor het schatten. Vlezige wortels verwelken gemakkelijk en het contrast van wortels (wit) en grond (zwart) neemt af.
13. Hoewel men in het algemeen bij het schatten loodrecht op het breukvlak moet kijken is het soms gewenst om het licht even over het breukvlak te laten gaan en daarbij niet óp, maar óver het breukvlak heen te zien. Hierbij kunnen worteleindjes opgemerkt worden, die anders niet opvallen.
14. Bij het vergelijken van het monster met de stippenfiguren is het gewenst deze figuren niet in het zonlicht te plaatsen. De figuren, die tegen vervuiling afgedekt kunnen zijn met plastic, beginnen in het zonlicht te glimmen, waarbij de stippenbedekking moeilijk is waar te nemen.
15. Vooral bij monsters, waarbij een geringe wortelbedekking is te verwachten, is het gewenst tijdens het breken reeds te letten op de aanwezigheid van wortels.
16. Bij droge zwak humeuze zandprofielen wordt het breken van het monster bemoeilijkt door verkrumeling. Vooral is dit het geval bij de laag 0-5 cm. Bij een geforceerde breuk op 2½ cm, verkrumelt de onderste helft geheel, zonder dat de wortels breken. Hierbij is het nog slechts mogelijk om het bovenste breukvlak te schatten. Het is gewenst om in de onderste helft van het monster de wortelmassa te controleren. Veelal is deze hoeveelheid zo gering, dat ze verwaarloosd kan worden.
17. De slechtste omstandigheden voor het schatten worden verkregen, wanneer het monster geheel verkrumelt. Elke vergelijking met de standaardfiguur is dan onmogelijk geworden. Betreft het een enkele boring, dan is het mogelijk een boring opnieuw uit te voeren. Treedt verkrumeling op bij monsters in meerdere boringen dan is men aangewezen op de methode, in het voorgaande bij het experimentele werk in III-1 beschreven.
18. Vooral op vochtige sterk humushoudende zand- en dalgronden kan het voorkomen, dat in het monster van 0-5 cm, op het eerste breukvlak wortels voorkomen,

waaraan gronddeeltjes zijn vastgekit, die niet verwijderd kunnen worden. Deze gronddeeltjes zijn vastgekit aan wortelharen en zijworteltjes. Inclusief de gronddeeltjes hebben de wortels soms een doorsnede van ± 2 mm. Zijwortels bedekken ook het monsteroppervlak en dus moet de volle diameter van de wortels in de bedekte oppervlakte worden opgenomen.

19. De monsters, geboord op een diepte van de grondwaterstand zijn meestal vrij nat. Dit heeft bij kleigronden het gevolg, dat deze monsters bij het breken vrij gemakkelijk kneden. Hieraan is weinig te veranderen. Soms lukt het breken beter door het monster uit elkaar te trekken. Hierbij wordt voorkomen, dat de worteleinden (meestal is het maar een gering aantal) onmiddellijk aan de klei vastgeplakt raken.
20. Het schatten in bolster- en spalterig-veen is moeilijk en zal waarschijnlijk vele onnauwkeurigheden vertonen. Wil men desondanks toch in deze grondsoorten schatten, dan moet er rekening mee worden gehouden, dat de wortels overwegend horizontaal in het monster voorkomen. Van liggende wortels moet de bedekking geschat worden alsof ze rechtop stonden. Hierdoor wordt het schatten onnauwkeuriger. Het is gewenst om de bedekking te controleren door na het horizontaal breken het monster ook verticaal te breken en opnieuw te schatten.

Aan ir. J. T. N. VENEKAMP wordt gaarne dank gebracht voor de vele adviezen en de hulp, die bij de wiskundige verwerking der gegevens zijn verstrekt.

SAMENVATTING

Het bepalen van de gewichtshoeveelheden wortels in grondmonsters kan geschieden door de grond boven een zeef weg te spoelen, vervolgens verontreinigingen als bladeren, stengels en humeuze deeltjes te verwijderen (naschonen) en ten slotte de wortels te drogen en te wegen. Dit is evenwel een methode, die zeer veel arbeidstijd vraagt (tabel 1). Dit wordt speciaal veroorzaakt door de monsters uit de bovenste lagen van de grond, die vaak sterk verontreinigd zijn (figuur 1).

Nagegaan is welke mogelijkheden er bestaan om de methode te vereenvoudigen. In de eerste plaats is een poging gedaan om de correlatie te bepalen tussen de wortelgewichten in de bovenlaag en in de ondergrond. De gevonden correlatie was echter onvoldoende om de bovenlaag bij de verwerking buiten beschouwing te kunnen laten (fig. 2a, b).

Het bleek mogelijk de hoeveelheid wortels met een redelijke betrouwbaarheid te schatten in monsters, die wel reeds gespoeld, maar niet nageschoond waren. Hiervoor werden de monsters vergeleken met series van standaardmonsters met hoeveelheden wortels, waarvan het gewicht bekend was (fig. 4, 5, 6). Dit gaf echter slechts een beperkte tijdswinst, omdat deze monsters toch nog gespoeld moesten worden. Daarom werd ook nagegaan of de hoeveelheid wortels in grondmonsters kon worden geschat. Dit onderzoek leidde tot een methode, waarbij de, met een wortelboor genomen, grondmonsters doormidden werden gebroken en vervolgens vergeleken met een, op een bepaalde manier, samengestelde serie van standaardfiguren (fig. 8).

De, met behulp van deze methode, verkregen resultaten zijn samengevat in de figuren 9, 10, 11, 12 en 13.

In tabel 2 is een betrouwbaarheidsanalyse gegeven.

SUMMARY

The determination of the weights of the roots in soil samples by a process of washing, selection of impurities, drying and weighing of these samples is very much time consuming (table 1). This is especially caused by the toplayer (fig. 1).

An analysis is made of the possibilities for simplification of the method. In the first place an attempt is made to determine the correlation between the weights in the toplayer and the subsoil (fig. 2). The correlation found was not sufficient to exclude the toplayer from the process.

It appeared to be possible to estimate the amounts of roots with fair accuracy in samples that had been washed but not yet selected, by comparing these samples with a standard series of root samples of known weights. (fig. 4, 5, 6). This gave, however, only a restricted gain of time, so an attempt was also made to estimate the amounts of roots in soil samples. This led to a method, in which the soil samples were broken and then compared with another standard series (fig. 8). The results obtained by this method are summarized in the figures 9, 10, 11, 12, 13. In table 2 an analysis of the variance is given.

LITERATUUR

GOEDEWAAGEN, M. A. J. De methoden, die aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen bij het wortelonderzoek op bouw- en grasland in gebruik zijn. 1948.

GOEDEWAAGEN, M. A. J. De wortelontwikkeling in graslandprofielen bij Velsen (N.H.) en bij Klundert (N.B.), waar kleilagen van verschillende dikte rusten op een ondergrond van zand of veen. *Versl. Landbouwk. Onderz.*, **61.7** (1955) 19-34.

HELLRIEGEL, H. Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaues. Braunschweig 1883.

SCHUURMAN, J. J. Het bepalen van wortelhoeveelheden in grondmonsters door schatting. Intern verslag Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen 1948.

SCHUURMAN, J. J. Enkele resultaten van een vergelijkend onderzoek naar de wortelontwikkeling van een aantal grassoorten. *Landbouwk. T.* **66**, (1954).